ленность краснушки стабильно невысокая (выход бабочек не более 1,3—1,5 % от общего количества отложенных яиц). Кроме того, почти полная дефолиация отдельных экземпляров крестовника днепровского гусеницами не вызывала гибели растения, наблюдалось восстановление фитомассы и даже цветение. Для уничтожения другого сорняка из рода *Senecio* — крестовника весеннего — краснушку нельзя использовать вследствие расхождений в фенологии кормового растения и фитофага.


*Ойвин И. А.* Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований // Пат. физиол. и эксп. терапия.— 1960.— № 4.— С. 76—85.

*Cox C. S., McEvoy P. B.* Effect of summer moisture stress on the capasity of tansy ragworm (Senecio jacobaea) to compensate for defoliation by cinnabar moth (Tyria jacobaeae) // J. Appl. Ecol.— 1983.— **20**, N 1.— P. 225—234.

*Dempster J. P.* The ecology of the cinnabar moth Tyria jacobaeae L. (Lepidoptera: Arctiidae) // Adv. Ecol. Res.— 1982.— **12**.— P. 1—36.

*Fraisse R.* Alimention et croissance de la larve cher Bombyx mori L. // Rev. Vers. à soie.— 1953.— 5, N 1/2.— P. 15—18.

*Harris P., Wilkinson A. T. S., Neary M. E.* Establishment in Canada of the cinnabar moth Tyria jacobaeae (Lepidoptera: Arctiidae) for controlling the weed Senecio jacobaea // Can. Entomol.— 1975.— **107**, N 9.— P. 914—917.

*Mejden E.* Senecio and Tyria in a Duch dune area. A study on an interaction between a monophagous consumer and its host plant // Dynamics Number Popul. Oosterbek, 1970.— Wagehingen Centr. Agric. Publ. Doc., 1971.— P. 390—404.

*Myers J. N., Campbell B. J.* Indirect measures of larval dispersal in the cinnabar moth Tyria jacobaeae (Lepidoptera: Arctiidae) // Can. Entomol. — 1976. — **108**, N 9. — P. 967—972.

*Richards L. J., Myers J. H.* Maternal influences on size and emergence time of the cinnabar moth // Can. J. Zool.— 1980.— **58**, N 8.— P. 1452—1457.

*Schmidt L.* Studies on the control of ragworm, Senecio jacobaea L., with the cinnabar moth, Callimorpha jacobseae (L.) (Arctiidae: Lepidoptera), in Victoria // Weed Res.— 1972.— **12**, N 1.— P. 46—57.

*Williams C. B., Cockbill G. F., Gibbs M. E., Downer J. S.* Studies in the migration of Lepidoptera // Trans. R. Entomol. Soc. Lond.— 1942.— **92**.— P. 101—283.


Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена
АН УССР
Получено 05.12.84

УДК 639.2.081.8

**Б. В. Солуха, С. К. Малькявичус, Ю. М. Максимов,
Л. И. Гроня, В. Н. Коляденко**

# УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕДЕНИЕМ РЫБ С ПОМОЩЬЮ СЛАБЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Разработка методов управления поведением рыб связана с необходимостью решения задач пастбищного содержания, отпугивания от водозаборов, привлечения в ставные невода и тралы.

В целом поведение животных разделяют на **подготовительные** (ориентировочно-исследовательские) и **завершающие** акты. В настоящее время усилия исследователей сконцентрированы в направлении использования завершающих актов, детерминированно проявляющихся при действии слабых видоспецифических раздражителей (релизеров) и сильных воздействий, вызывающих болевые ощущения. Управление поведением животных с помощью релизеров оказывается нетехнологичным в силу существенной изменчивости инициируемых ими актов (сезонной, суточной, видовой, популяционной и т. п.). Применение сильных воздействий, например электрораздражения, требует больших затрат мощности, особенно в морской воде. Кроме того, такие раздражители оказываются эффективны только в ближнем поле.

Следовательно, чрезвычайно перспективен комплекс работ по изучению возможности управления поведением рыб путем формирования поискового поведения. Оно инициируется слабыми воздействиями любого вида. Единственными условиями для проявления ориентировочных актов являются способность ощущать воздействие и его новизна для животного. Однако ориентировочно-поисковое поведение стохастич-

но по своей природе, так как формируется путем проб и ошибок. Априорно ясно, что эффект управления может проявиться только в среднестатистическом плане, в виде тенденции к осуществлению заданного действия на фоне хаотической двигательной активности. Задача работы: описать закономерности проявления ориентировочно-поисковых актов и предложить методы управления движением рыб с помощью слабых физических (электрических, акустических, световых и т. д.) полей.

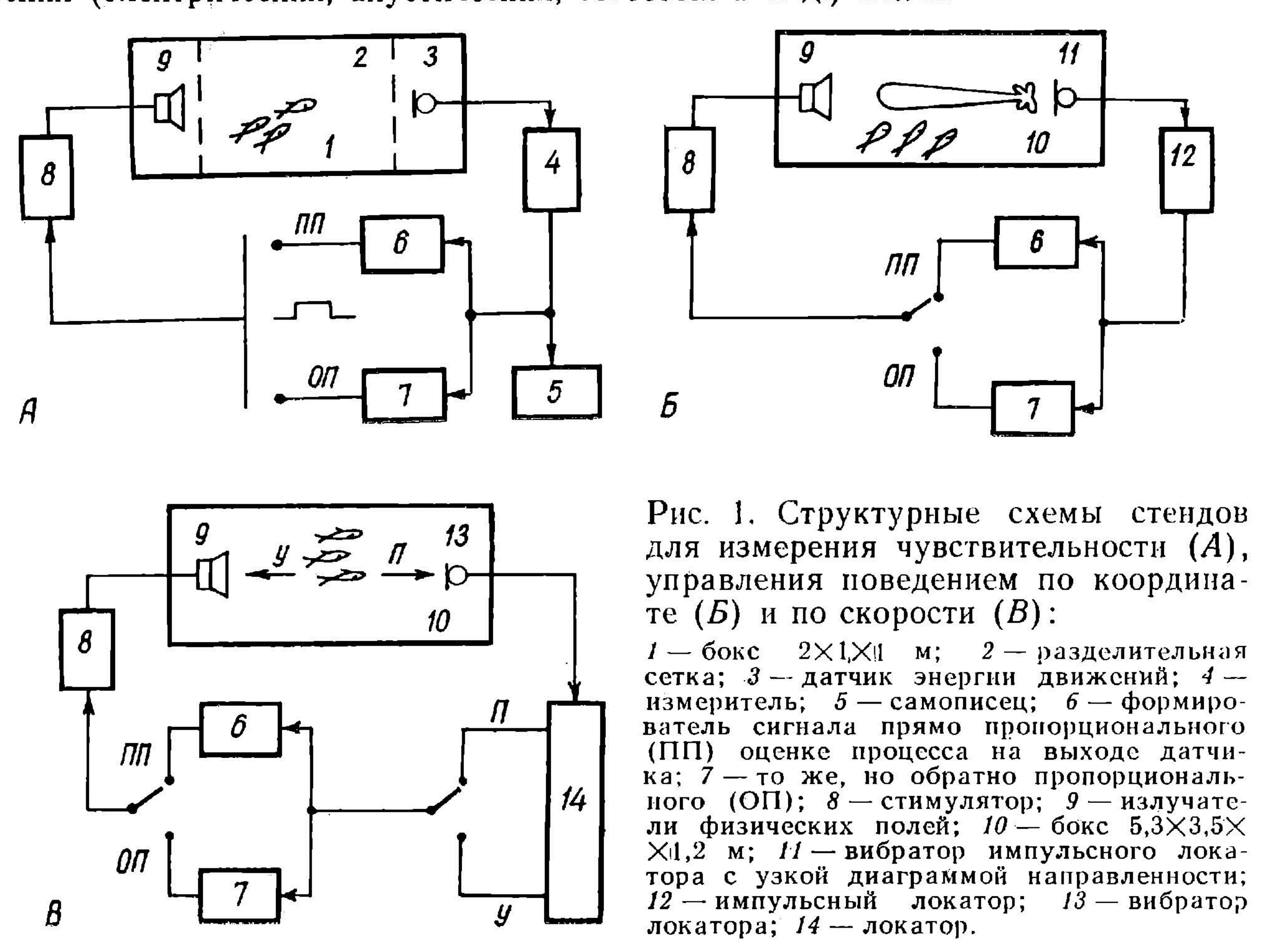



Рис. 1. Структурные схемы стендов для измерения чувствительности (*А*), управления поведением по координате (*Б*) и по скорости (*В*):

*1* — бокс 2×1×1 м; *2* — разделительная сетка; *3* — датчик энергии движений; *4* — измеритель; *5* — самописец; *6* — формирователь сигнала прямо пропорционального (ПП) оценке процесса на выходе датчика; *7* — то же, но обратно пропорционального (ОП); *8* — стимулятор; *9* — излучатели физических полей; *10* — бокс 5,3×3,5×1,2 м; *11* — вибратор импульсного локатора с узкой диаграммой направленности; *12* — импульсный локатор; *13* — вибратор локатора; *14* — локатор.

Работа проводилась на базе Клайпедского филиала НПО промрыболовства весной 1984 г. Методически эксперименты делились на 3 группы:

I. Оценка чувствительности трески, салаки, рыбца и леща к воздействиям разной модальности. Группа рыб помещалась в небольшой бокс (рис. 1, *А*). С помощью пневмо-пьезоэлектрического датчика энергии движений регистрировалась двигательная активность. Воздействия предъявлялись как независимо от движений рыб, так и в такт с ними. В режиме ПП уровень воздействия автоматически повышался при усилении двигательной активности, в режиме ОП — понижался, начиная с установленного экспериментатором максимального значения.

II. Уровень физического поля устанавливался прямо или обратно пропорционально числу рыб, находящихся в пределах диаграммы направленности импульсного локатора (рис. 1, *Б*).

III. Уровень физического поля устанавливался прямо (ПП) или обратно пропорционально (ОП) средней групповой скорости движения рыб к датчику (рис. 1, *В*) локатора (П) или от него (У). Регистрация энергии движений, числа рыб в диаграмме локатора и скорости движения в заданном направлении проводилась на фоновом интервале и последующем стимульном. Далее вычислялся показатель реагирования К, равный отношению оценки движений на стимульном интервале к фоновой оценке. Если реакция отсутствовала, значения К группировались в области 1, а их распределение было близко к гауссовому. При значениях К, больших 1, реакция представляла собой увеличение регистрируемого параметра (энергии, числа рыб, скорости), меньших 1 — уменьшение.

При стохастическом процессе проб и ошибок значения К также изменяются случайным образом, но их распределение отлично от фонового. Удобно пользоваться среднеквадратичным показателем $К^2$, представляющим собой оценку разброса отклонений от генерального фонового среднего. В этом случае увеличение $К^2$ во время реакции хорошо заметно при любой случайной последовательности проб и ошибок, совершаемых рыбами в физических полях.

**I. Оценка чувствительности.** Ориентировочная реакция лучше всего проявляется в пороговой зоне. При этом у животных отсутствует представление о воздействии, а ощущается некоторое изменение окружающей обстановки. Путем проб и ошибок рыбы устанавливают оптимальное для восприятия раздражителя положение тела в простраастве и режим движений. Если искусственно ввести зависимость уровня сигнала

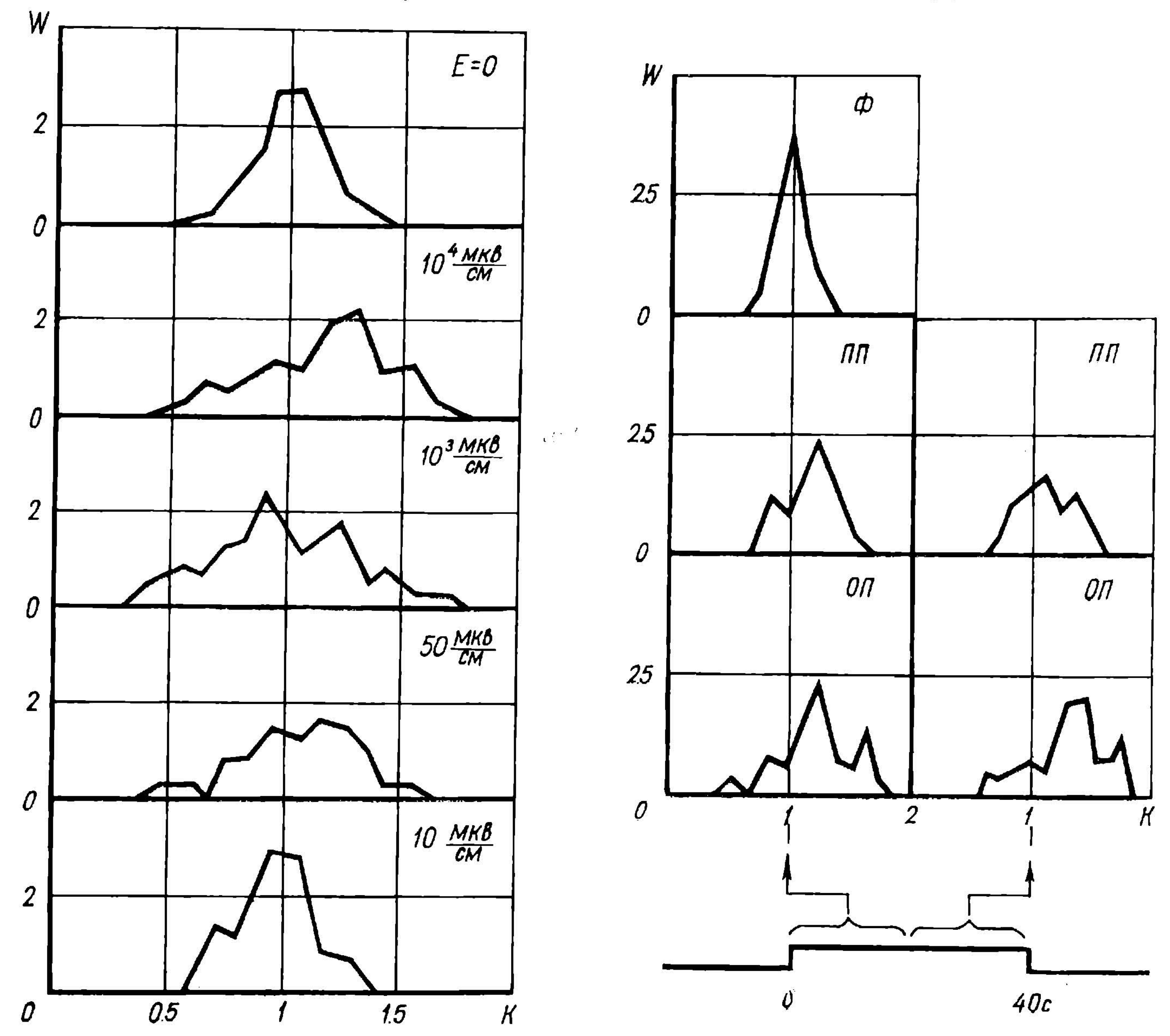


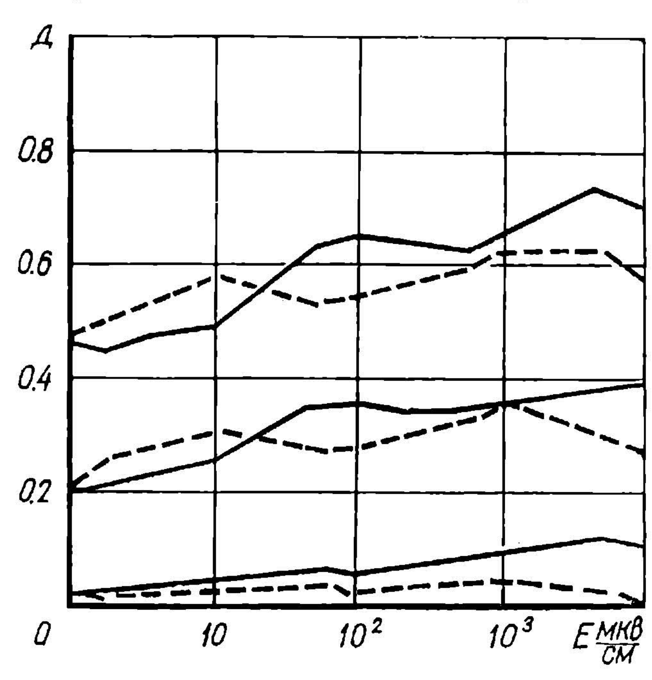

Рис. 2. Распределение (гистограммы) ориентировочных актов трески (группа из 9 особей длиной 40—55 см) при электрораздражении в режиме обратно пропорциональной связи напряженности поля с уровнем двигательной активности.

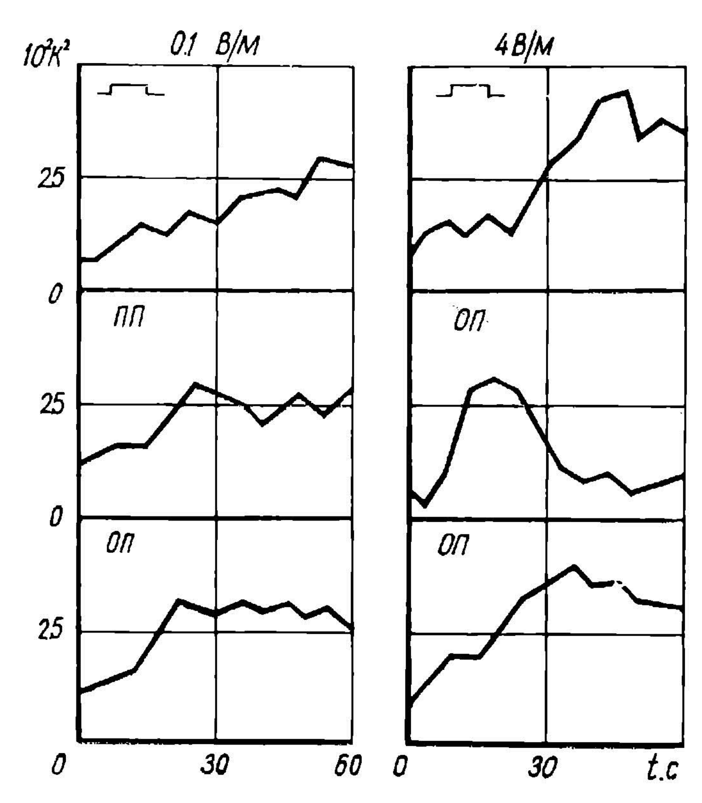
Рис. 3. Распределение ориентировочных актов трески (группа из 9 особей длиной 40—55 см) в фоновых условиях (Ф) и электрораздражении полем с максимальной напряженностью 1 В/м (200 Гц) в режимах прямо (ПП) и обратно пропорциональной (ОП) связи напряженности с энергией движений рыб за первый (слева) и второй (справа) 20-секундный интервал стимуляции.

от уровня двигательной активности рыб, пробы и ошибки выражаются в последовательном усилении движений и замирании, сменяющих друг друга в случайном порядке.

Например, изменение характера движений трески, сравнительно с фоновым, хорошо заметно при напряженностях поля $5 \cdot 10^{-3}$ В/м (рис. 2). На распределении значений показателя реагирования появились «хвосты», свидетельствующие о более частом проявлении у рыб относительно слабых и сильных движений. При максимальной напряженности поля (изменяющегося обратно пропорционально энергии движений рыб) порядка 0,1 В/м ориентировочная реакция достигает своего максимального выражения. Следует подчеркнуть, что визуально в этом случае регистрируется лишь некоторое усиление разнообразия движений. Оценить его «на глаз» количественно не представляется возможным.

При напряженности поля 1 В/м и выше в режиме ОП преобладает усиление энергии движений (рис. 2 и 3). Распределение показателя реагирования сдвигается в сторону больших значений. Поскольку уровень сигнала при этом автоматически уменьшается, очевидна смена ориентировочного инструментального поведения инструментальной реакцией избегания. Обучение избеганию (путем усиления движений в режиме ОП и замирания в режиме ПП) происходит за (10—30) с. Например, в режиме ПП в начале стимуляции преобладали сильные движения, а через 20 с их доля значительно уменьшилась (рис. 3). При напряженности 1 В/м эффекты избегания еще только начинают проявляться, а при напряженности 10—20 В/м заметны даже визуально. Например, избегание электрораздражения путем альтернативного реагирования



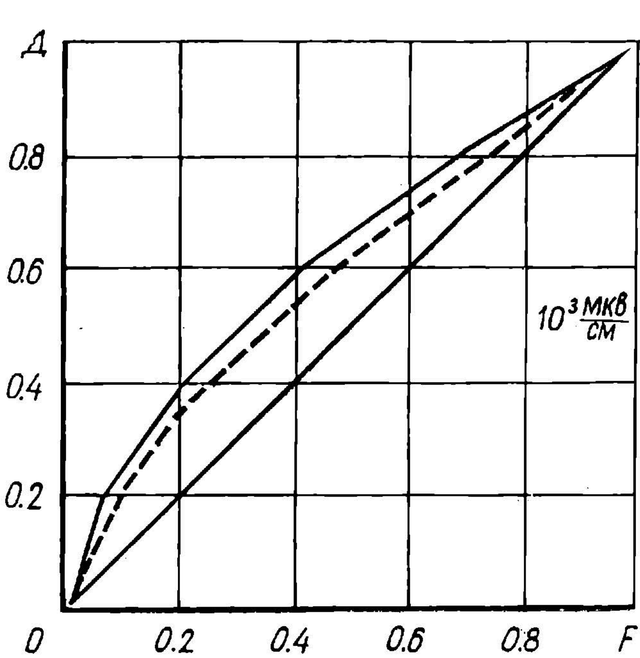




Рис. 4. Динамика двигательной активности лещей (13 особей) при непрерывной стимуляции и введении прямо (ПП) и обратно пропорциональной (ОП) обратной связи между напряженностью поля и энергией движений рыб. Над графиками указана максимальная напряженность поля в соответствующей серии опытов.

Рис. 5. Психометрические функции и кривые изочувствительности (зависимости вероятности правильного обнаружения реакции от вероятности ложной тревоги) трески (9 особей длиной 40—55 см) в электрическом поле. В одной серии экспериментов напряженность поля поддерживалась постоянной в течение всего времени стимуляции (пунктир), в другой — изменялась обратно пропорционально уровню двигательной активности рыб.

в режимах ПП и ОП хорошо проявляется у лещей при напряженности поля 4 В/м и более (рис. 4).

Характеристика обнаружения ориентировочных актов трески (рис. 5) монотонно возрастает в диапазоне ($5\cdot10^{-3}$ — 1) В/м. С её помощью можно оценить вероятность проявления ориентировочной реакции рыб. Частотная характеристика ориентировочного реагирования трески имеет оптимум в диапазоне (50—1000) Гц (рис. 6).

Ориентировочное поведение салаки проявляется в диапазоне ($5\cdot10^{-2}$ — 1) В/м (рис. 7). Повышение порогов чувствительности сравнительно с треской обусловлено меньшим размером исследовавшихся

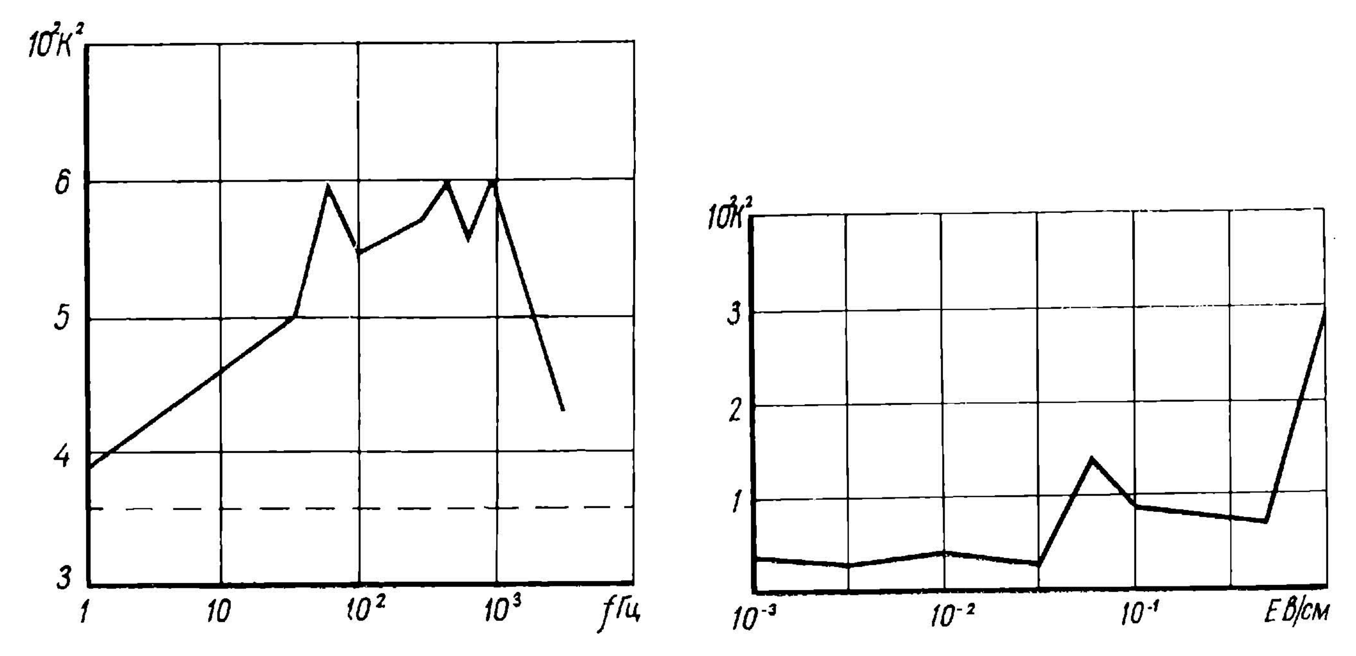



Рис. 6. Частотная характеристика реагирования трески (9 особей 40—55 см) на электрораздражение с максимальной напряженностью 1 В/м в режиме обратно пропорциональной связи уровня воздействия и энергии движений. Пунктир — оценка фоновой активности.

Рис. 7. Амплитудная характеристика ориентировочного реагирования салаки (300 особей длиной 14—17 см) на электрораздражение в режиме обратно пропорциональной связи напряженности поля с энергией движений.

Рис. 8. Распределение ориентировочных актов салаки (более 300 особей длиной 14—17 см) в фоновых условиях (Ф) и при воздействии акустическим полем с максимальным уровнем 1 Па в режиме непрерывной стимуляции и при введении прямо (ПП) и обратно пропорциональной (ОП) связи с энергией движений.

Рис. 9. Распределение ориентировочных актов салаки (более 300 особей длиной 14—17 см) в фоновых условиях, освещении в течении 1 мин (две лампочки 6,3 В, 0,28 А на расстоянии 1 м) непрерывно и в режимах ПП и ОП связи освещенности с энергией движений.

рыб и рядом видовых особенностей. Хорошо проявляется ориентировочное поведение салаки в звуковых (рис. 8) и световых (рис. 9) полях. Во всех случаях более эффективным оказался режим ОП. Усиление реакций в этом режиме (рис. 7) имеет место как на пороге чувствительности (ориентировочные акты), так и при сильных воздействиях (акты избе-

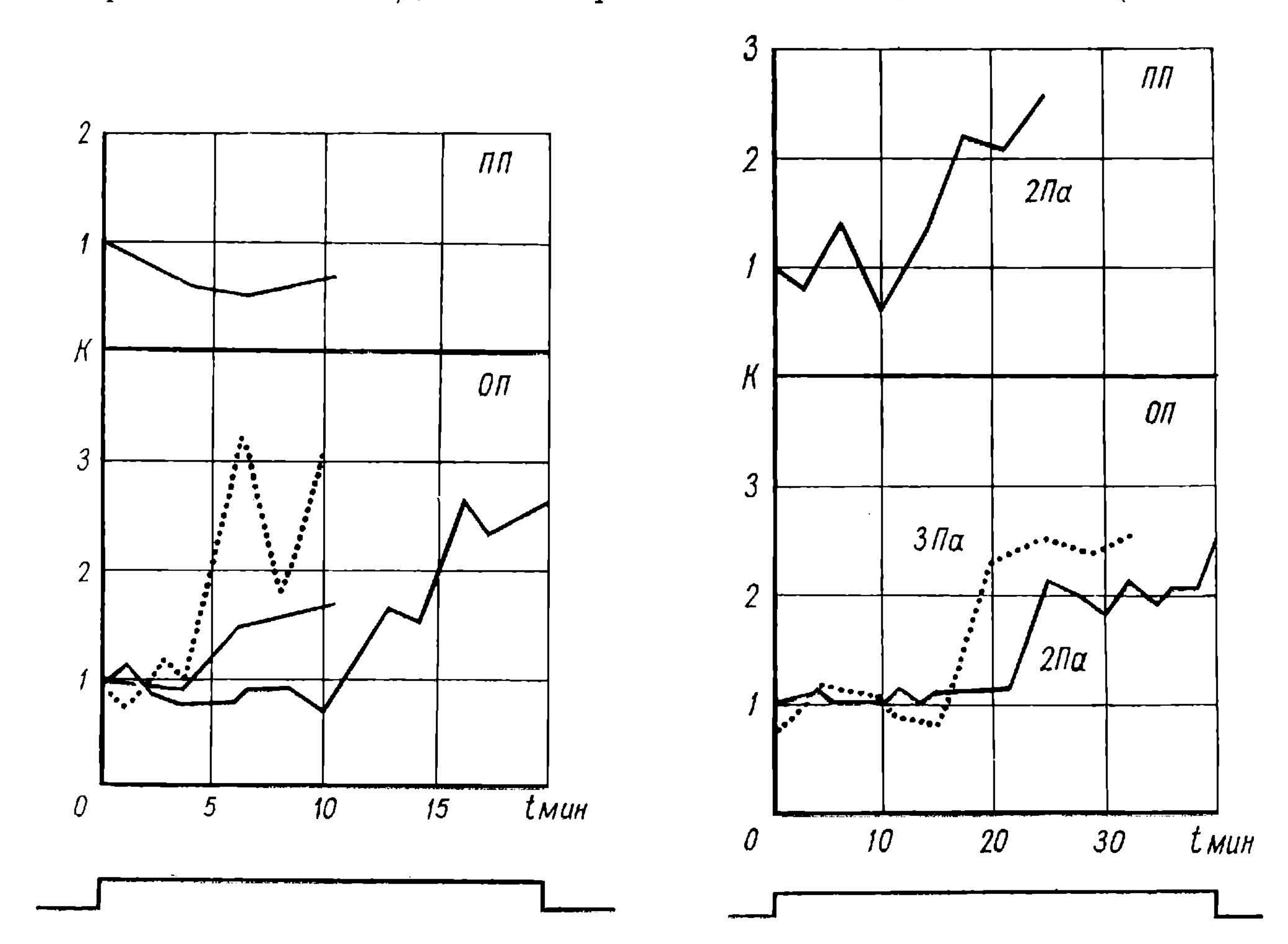



Рис. 10. Оценка пребывания трески в локальной зоне при импульсном электрораздражении прямо (ПП) и обратно пропорционально (ОП) выходному сигналу локатора с узкой диаграммой направленности. Максимальная напряженность поля 0,5 В/м.

Рис. 11. Оценка пребывания трески в локальной зоне при воздействии акустическим полем частоты 200 Гц прямо (ПП) и обратно пропорционально (ОП) выходному сигналу локатора с узкой диаграммой направленности.

гания). Аналогичные эффекты регистрировались у карпов, радужной форели, стальноголовых лососей, карликовых сомиков и многих других видов рыб.

**II. Управление по координате.** В процессе хаотического перемещения по акватории, рыбы случайно попадали в зону диаграммы направленности локатора (рис. 1, *Б*). Если ввести обратную связь так, чтобы заход в зону вызывал усиление электрораздражения (режим ПП), вероятность пребывания рыб в ней уменьшалась (рис. 10). Эффект выражен слабо, так как большую часть времени рыбы в любом случае находятся вне этой локальной зоны.

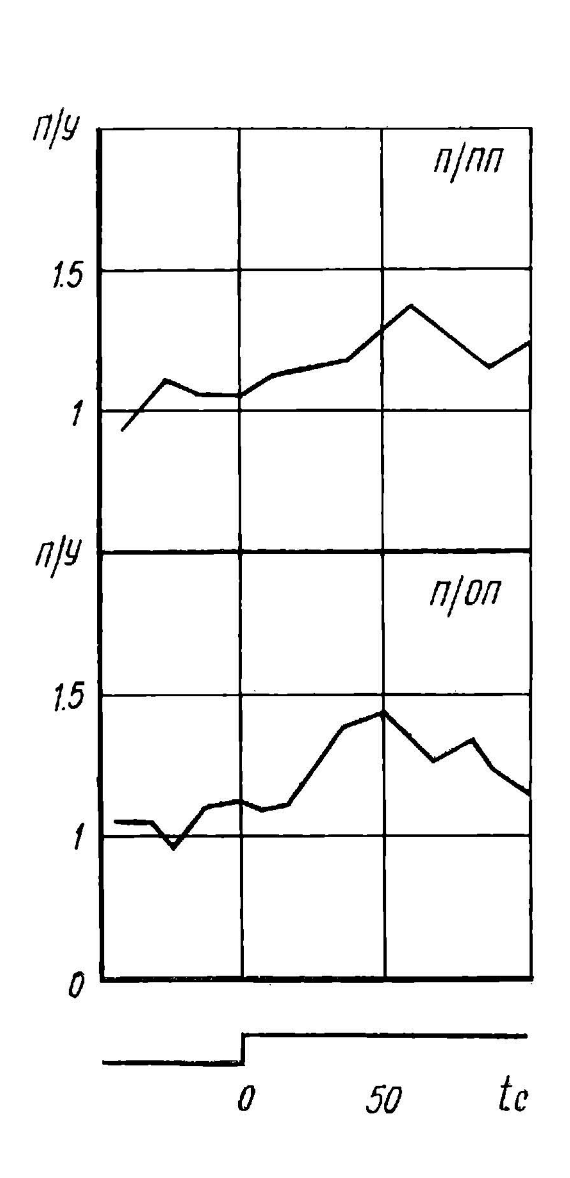
В альтернативном режиме (ОП) во всех точках акватории, кроме диаграммы локатора осуществляется электрораздражение напряженностью 0,5 В/м (рис. 10). Поле такого уровня не вызывает у рыб сильного болевого ощущения, но инициирует реакцию избегания. В данном случае она выражается в резком увеличении вероятности пребывания рыб в локальной зоне. Время обучения составляет (5—15) мин.

После обучения рыбы периодически выходят из локальной зоны, чем вызывают усиление поля. Возвращение на прежнее место осуществляется гораздо быстрее (до 2 мин), чем первичное обучение.

Акустические поля вызывали у рыб только ориентировочно-поисковую реакцию. Доминирующим фактором при этом является не уровень воздействия, а его изменение. Поэтому повышение вероятности пребывания рыб в локальной зоне наблюдается в обоих режимах (рис. 11).

При установке подобной системы на реальном объекте, например, ставном неводе, предпочтительнее более экономичный режим ПП.

Сканируя диаграммой направленности, можно за счет ориентировочной реакции целенаправленно перемещать рыб в заданном направлении. Однако время первичного обучения этим методом очень велико



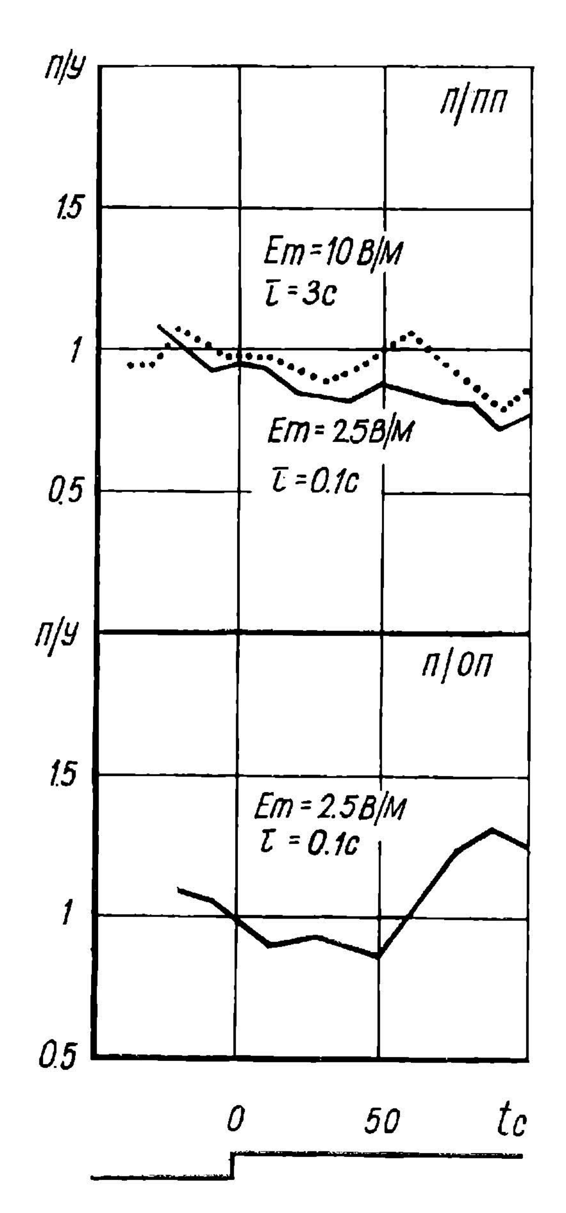




Рис. 12. Соотношение средних скоростей приближения (П) и удаления (У) трески (20 особей длиной 30—55 см) в бассейне размером 5,3×3,5×1,2 м при воздействии акустическим полем с максимальным уровнем 2 Па частотой 200 Гц в режиме прямо (ПП) и обратно пропорциональной (ОП) связи уровня звукового давления с оценкой скорости приближения рыб (П).

Рис. 13. Соотношение средних скоростей приближения (П) и удаления (У) трески (20 особей длиной 30—55 см) в бассейне размером 5,3×3,5×1,2 м при импульсной стимуляции электрическим током прямо (ПП) и обратно пропорционально (ОП) скорости приближения (П) рыб к следящей системе.

(десятки минут) даже в ограниченной акватории, и неизвестно, каким оно окажется в естественных условиях. По-видимому, наиболее перспективный путь приложения метода управления по координате — ставной лов.

**III. Управление по компоненту скорости.** Изменение скорости или направления движения рыб приводит к пропорциональному изменению уровня воздействия, если постоянная времени цепи обратной связи не превышает 5 с. В противном случае нарушается ассоциативная связь «движение» — «воздействие».

В естественных полях ориентирование заключается в выборе рыбами оптимального положения относительно градиента поля. Перемещаясь из одной точки в другую, рыбы устанавливают изменение уровня поля и путем проб и ошибок выбирают направление движения в сторону его повышения или уменьшения.

Благодаря работе установки (рис. 1, *В*) движение в определенную сторону может вызвать как усиление поля, так и его ослабление (в зависимости от выбора режима). Например, изменение звукового поля вызывает ориентировочную реакцию только при движении рыб к датчику системы управления, и поле отсутствует или постоянно при движении от него. Тогда рыбы чаще и с несколько большей скоростью двигаются к системе, чем от нее (рис. 12). Расположение излучателя звука при этом никакой роли не играет. Важно лишь, чтобы сигнал воспринимался рыбами.

Совершенно иначе осуществляется управление движением рыб болевыми воздействиями (рис. 13). В режиме П/ПП, движение к системе вызывает усиление поля. Поэтому после обучения преобладает уход рыб от датчика. В режиме П/ОП движение к системе вызывает, наоборот, ослабление электрораздражения. Поэтому самообучение приводит к приближению рыб. Альтернативные эффекты имеют место в режимах У/ПП и У/ОП. То есть, приближение рыб осуществляется в режимах П/ОП и У/ПП, а уход — П/ПП и У/ОП. Акты приближения и ухода проявляются как тенденции на фоне хаотического произвольного движения рыб, в отличие от детерминированной анодной реакции.

Скорость обучения зависит от выбора режима, но, как правило, не превышает 1 мин. В этом аспекте обучение по скорости движений эффективнее обучения по координате. Увеличением напряженности поля можно несколько скомпенсировать влияние постоянной времени цепи обратной связи, если оно не превышает (2—3) с. Например, при постоянной времени 3 с эффект сохраняется при повышении напряженности поля вчетверо.

В экономическом аспекте оптимальным является режим управления с прямо пропорциональной связью (ПП). Воздействие подается только тогда, когда появляются объекты управления, а его уровень зависит от скорости и направления их движения. Если рыбы двигаются в заданном направлении, воздействие равно нулю, а увеличивается оно только при движении в обратном направлении. Кроме того ориентировочно-поисковые акты формируются при малых напряженностях поля. В целом выигрыш по мощности, сравнительно с управлением без обратной связи, может достигать нескольких порядков.

Все вышеописанные данные представляют собой результаты работ, выполненных в условиях ограниченной акватории. На данном этапе нельзя предсказать, как изменится поведение рыб в реальных условиях и какие режимы управления окажутся оптимальными. Поэтому на следующем этапе необходимо исследование систем с обратной связью в акватории размером более 100 кв. м и, далее, в неограниченной акватории.

Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена АН УССР
Клайпедский филиал НПО промрыболовства МРХ СССР
Получено 19.12.84

## ЗАМЕТКИ

**Esperella Nekrutenko, nom. n.** pro *Esperia* Nekrutenko, 1987 (Вестн. зоологии, 2; 84) (Lepidoptera, Satyridae), non Hübner, [1825] (Verz. bekannter Schmett.: 418) (Lepidoptera, Oecophoridae). Выражается признательность А. Л. Львовскому, обнаружившему омонимию.— **Ю. П. Некрутенко** (Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена АН УССР, Киев).